

УДК 681.5.015+519.246.8

Марія Стадник

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ОЦІНКА ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ
УСТАЛЕНИХ ЗОРОВИХ ВИКЛИКАНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ ЯК ОДНА З
КЛЮЧОВИХ ФУНКЦІЙ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ОФТАЛЬМОДІАГНОСТИКИ**

Здійснено та обґрунтовано доцільність застосування ортогонального розкладу з використанням системи функцій Чебишева або дискретного перетворення Фур'є усталеного зорового викликаного потенціалу з метою ідентифікації інформативних параметрів та подальшого їх застосування у інформаційній технології офтальмодіагностики. Визначено оптимальну кількість інформативних параметрів, що характеризують досліджуваний сигнал.

Ключові слова: усталений зоровий викликаний потенціал, ортогональний розклад, інформативні параметри, функції Чебишева, функції Кравчука, функції Лагера.

Mariia Stadnyk

**THE FEATURE ESTIMATION OF STEADY STATE VISUAL EVOKED
POTENTIAL AS ONE OF THE KEY FUNCTION OF INFORMATION
TECHNOLOGY OF THE OPHTHALMOLOGIC DIAGNOSTICS**

The expediency of the usage of the orthogonal decomposition with the Chebyshev system or the discrete Fourier transform of the steady-state visual evoked potential was done and substantiated in order to identify informative parameters and further use of it in information technology in Ophthalmology. The optimal number of informative parameters that characterize the investigated signal is determined.

Keywords: steady-state visual evoked potential, orthogonal decomposition, informative parameters, Chebishev functions, Kravchuk functions, Lager functions.

Усталений зоровий викликаний потенціал (ЗВП) є частинним випадком електроенцефалограми людини зареєстрованої з відповідних позицій розміщення електродів на поверхні скальпа, що відповідають зоровій активності (зазвичай О₁ та О₂ згідно Міжнародної системи 10-20 накладання електродів) та спричиненої зовнішньою високочастотною стимуляцією (4-25 Гц) зорового аналізатора. В залежності від джерела стимуляції усталені ЗВП поділяються на патернові (зміна патерна на моніторі, просторово-структурні стимули) та спалахові (спалах світлодіодів, світлові стимули).

Усталені ЗВП використовуються в клінічній діагностиці зорової системи людини у випадку, коли пацієнт не в змозі надати відповідь, в післяопераційний період; в когнітивній діагностиці, а саме: оцінка візуальної уваги, робочої пам'яті, бінокулярного зору, альфа ритму.

Для забезпечення однієї із ключових функцій інформаційної технології – діагностики, необхідно перш за все виконати аналіз та опрацювання досліджуваного сигналу з метою виявлення та оцінки інформативних параметрів, які би достатньо характеризували усталений ЗВП.

Математичною моделлю усталеного ЗВП було обґрунтовано та обрано лінійний Т-періодичний випадковий процес:

$$\xi(t+T) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau+T, t+T) d\eta(\tau+T), \quad (1)$$

де $\varphi(\tau, t)$ – не випадкова функція, котра набуває при кожному $t \in T$ рівномірно за τ скінченних значень; а $\eta(\tau), \mathbf{P}\{\eta(0) = 0\} = 1, \tau \in (-\infty, \infty)$ – дійсний стохастично неперервний випадковий процес із незалежними приростами.

Для оцінки ймовірнісних характеристик усталеного ЗВП було використано відомий метод φ –серій для лінійних періодичних випадкових послідовностей. В результаті було отримано оцінки математичного сподівання, дисперсії та кореляційної функції усталеного ЗВП. З метою отримання інформативних параметрів було використано ортогональні розклади функцій Чебишева, Кравчука та Лагера.

Базис функцій Кравчука задається наступним чином:

$$\left\{ f_k(x) = \frac{k_k(x)U(x, 0, N)\sqrt{j(x)}}{\|k_k\|} \right\}, x \in (-\infty, \infty), k = \overline{0, N}, \quad (2)$$

де $\|k_k\| = \sqrt{\binom{N}{k}(p \cdot q)^k}$ – норма полінома Кравчука;

$k_k(x) = \frac{1}{n!} \sum_{k=0}^n (-1)^{n-k} \binom{n}{k} p^{n-k} (N-k)^{[n-k]} x^{[k]}, n \in \overline{0, N}$. – поліноми Кравчука.

$$U(x, a, b) = U(x-a)(b-x) = \begin{cases} 1, a \leq x \leq b, \\ 0, x < a \parallel x > b. \end{cases}$$

На рис. 1 представлено спектру ортогонального розкладу отриманого з використанням базису функцій Кравчука для математичного сподівання усталеного ЗВП отриманого при частоті стимуляції 10 Гц.

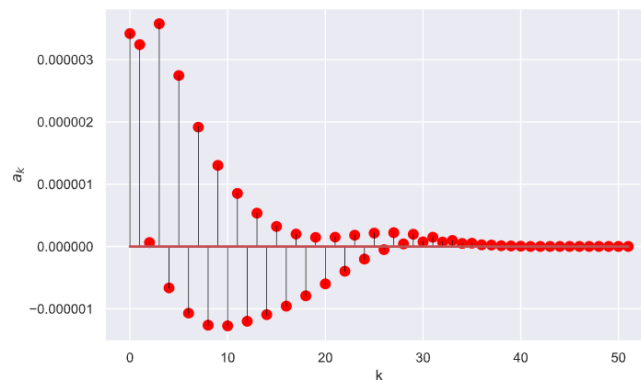


Рис. 1. Спектр коефіцієнтів розкладу усталеного ЗВП за базисом функцій Кравчука

Ортонормований базис функцій Чебишева, які є ортогональними на скінченному інтервалі та співпадають із ортонормованими поліномами Чебишева дискретного аргументу, заданий наступним чином:

$$\left\{ f_k(x) = t_k(x)U(x, 0, N)\|t_k\|^{-1} \right\}, x \in (-\infty, \infty), k = \overline{0, N}, \quad (3)$$

де $t_n(x) = \sum_{k=0}^n (-1)^{n-k} \binom{n}{k} \binom{n+k}{k} \frac{(N-1)^{[n]}}{(N-1)^{[k]}} x^{[k]}, n \in [0, N-1]$ поліноми Чебишева, $\|t_k\|$ – норма полінома Чебишева.

На рис. 2 представлено спектру ортогонального розкладу отриманого з використанням базису функцій Чебишева для того ж самого досліджуваного сигналу.

Система базисних функцій Лагера визначається наступним чином:

$$\left\{ f_k(x) = (-1)^k e^{-\frac{\lambda x}{2}} l_k(x) \hat{l}_k(x) U(x) \right\}, x \in (0, \infty), k = \overline{0, \infty}, \quad (4)$$

де $\hat{l}_k(x) = \sqrt{e^{\lambda k} (1 - e^{-\lambda})}$; $l_k(x) = (-1)^n \sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} \frac{(x+k)^{[n]}}{n} e^{-\lambda k}$ – поліноми Лагера.

На рис. 3 представлено спектру ортогонального розкладу отриманого з використанням базису функцій Лагера для математичного сподівання усталеного ЗВП отриманого при частоті стимуляції 10Гц.

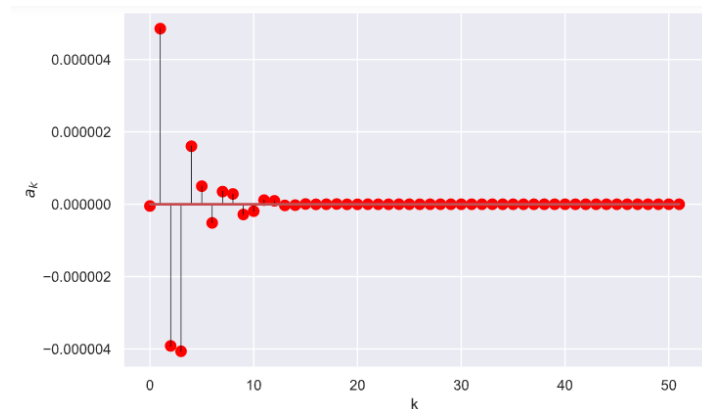


Рис. 2. Спектр коефіцієнтів розкладу усталеного ЗВП за базисом функцій Чебишева

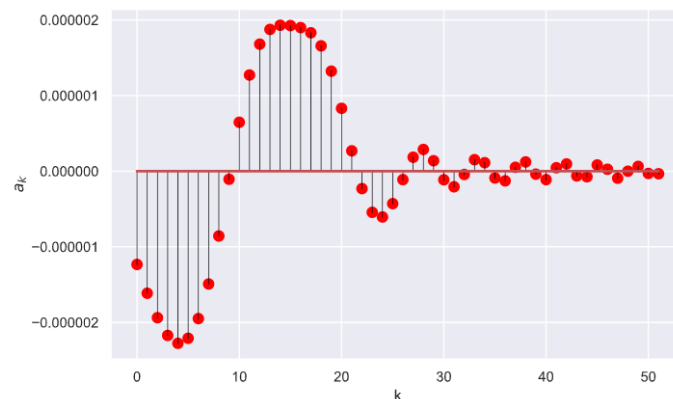


Рис. 3. Спектр коефіцієнтів розкладу усталеного ЗВП за базисом функцій Лагера

На основі нерівності Бесселя або теореми Парсеваля введемо функцію $e(N)$, яка буде відображати відсоток енергії, яку відновлюють (несуть) перші k коефіцієнтів ортогонального розкладу відносно загальної енергії сигналу визначеного:

$$e(N) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k^2 / \sum_{i=0}^{N-1} F(x_i)^2. \quad (5)$$

Представимо графік залежності (рис.4) між сумою квадратів коефіцієнтів ортогональних розкладів за базисом функцій Чебишева, Лагера, Кравчука, дискретного перетворення Фур'є та нормованою до одиниці енергією досліджуваного сигналу.

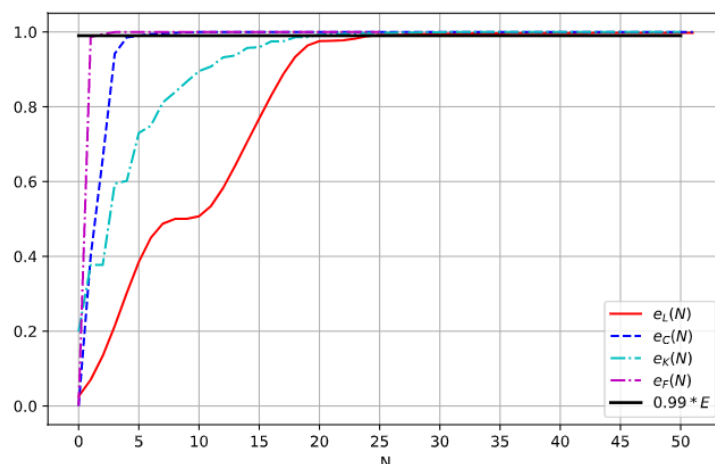


Рис. 4. Графік залежності між сумою квадратів коефіцієнтів розкладу та енергією досліджуваного сигналу E ($e_L(N)$ – при використанні системи базисних функцій Лагера, $e_C(N)$ – функцій Чебишева, $e_K(N)$ – функцій Кравчука, $e_F(N)$ – дискретного перетворення Фур'є)

Аналіз графіків на рис.4 показує, що для того, щоб коефіцієнти розкладу відображали не менше ніж 0.99% енергії, необхідно взяти 7 коефіцієнтів, використовуючи систему функцій Чебишева, 17 – для функцій Кравчука, 23 – для функцій Лагера та 3-4 для дискретного перетворення Фур'є. Звичайно необхідно врахувати, що для обчислення статистики (5) значення першої половини коефіцієнтів множилося на два, зважаючи на особливості спектру отриманого за допомогою перетворення Фур'є.

Результати представлені у таблиці 1 відображають залежність між кількістю інформативних параметрів усталеного ЗВП та частотою стимуляції.

Таблиця 1.

Кількість складових ортогонального розкладу для відновлення 99% енергії сигналу усталеного ЗВП з різною частотою стимуляції

Ортогональні функції дискретного аргументу	Частота стимуляції при реєстрації уЗВП, Гц		
	7	10	12
Чебишева	9	7	7
Кравчука	27	20	21
Лагера	28	23	24
Дискретне перетворення Фур'є	5	4	4

Висновки. Збільшення частоти стимуляції при реєстрації усталеного ЗВП призводить до зменшення кількості складових ортогонального розкладу. На основі аналізу результатів розкладу математичного сподівання усталеного ЗВП (частота стимуляції 10Гц) інформативними параметрами будемо вважати 7 перших коефіцієнтів розкладу за базисом функцій Чебишева або 4 коефіцієнти дискретного перетворення Фур'є, що будуть в подальшому використані для діагностики.